Escola Superior Agrária Elvas
IPPortalegre

Desenvolvimento de um protótipo de secador de plantas aromáticas e medicinais

Trabalho de Projeto

Curso de Mestrado em Agricultura Sustentável

João Carlos Rosado Esturrica

Orientadores:

Orlanda Viamonte Póvoa

Elvas, 2022

João Carlos Rosado Esturrica

Desenvolvimento de um protótipo de secador de plantas aromáticas e medicinais

Trabalho de Projeto apresentado para obtenção do grau de mestre em (Agricultura Sustentável) conferido pelo Instituto Politécnico de Portalegre.

Orientador: Prof.ª Doutora Orlanda de Lurdes Viamonte Póvoa (ESAE - Instituto Politécnico de Portalegre)

Arguente principal: Prof.ª Doutora Fernanda Maria Grácio Delgado Ferreira de Sousa (Instituto Politécnico de Castelo Branco)

Arguente: Prof. Doutor Luís Alcino Pinto Monteiro da Conceição (ESAE - Instituto Politécnico de Portalegre)

Presidente do Júri: Prof. Doutor José Manuel Rato Nunes (Presidente do Conselho Técnico-Científico da ESAE - Instituto Politécnico de Portalegre)

Classificação: dezasseis (16) valores

Escola Superior Agrária de Elvas

2022

Agradecimentos

Venho por este meio agradecer a várias pessoas e entidades pela ajuda e empenho, sem as quais não seria possível o desenvolvimento do documento em questão.

O meu muito obrigado:

À Professora Orlanda Póvoa pela dedicação demonstrada no decorrer de todo o processo desde a construção do secador até à testagem da secagem das plantas.

À minha mulher Andreia Pereira, que sempre esteve a meu lado e que apoiou a ideia desde o começo.

Aos meus pais que tornaram possível eu ter chegado ate aqui e por sempre me apoiarem.

E por fim à Vanda da "PaisagindoBio" pela troca de informações sobre a forma de funcionamento do seu secador.

Resumo

O setor das plantas aromáticas e medicinais (PAM) é um setor em crescimento, com predominância de explorações de pequena dimensão. O teor de humidade das PAM frescas é de 60-80% de água, sendo necessário reduzir para 10-12% de humidade para acondicionamento, portanto a desidratação é fundamental. A aquisição de um secador comercial implica um grande investimento financeiro, difícil para pequenas explorações agrícolas. Neste contexto, desenvolveu-se um secador de pequenas dimensões e baixa voltagem. Incluiu-se um manual de construção, montagem e funcionamento para possibilitar que os utilizadores possam montar e utilizar o seu próprio secador. O secador desenvolvido foi testado com a secagem de coentros (*Coriandrum sativum*), louro (*Laurus nobilis*) e alecrim (*Rosmarinus officinalis)*. As plantas secas mantiveram a cor e o aroma, sendo apelativas para os clientes potenciais. Não houve diferença estatística significativa ($p<0,05$) entre a % de humidade das plantas das 3 espécies secas pelo secador desenvolvido e o secador do laboratório de biologia vegetal da ESAE/IPP, concluindo-se que o secador funciona bem. O tempo de secagem foi de 5 dias para o coentro e alecrim e de 6 dias para o louro; o custo de secagem foi de 23,426€/kg para coentro, 7,169€/kg para alecrim e 6,859€/kg para louro. Em média, o custo de secagem foi de 12,49€/kg. As diferenças de preço devem-se sobretudo aos diferentes teores de humidade das plantas. O secador apresentou uma elevada eficiência energética devido ao baixo consumo diário (0,86€). O custo de construção foi 1/3 do custo do secador comercial mais parecido (Chatron - 1117,14€), consome apenas 183w/h enquanto que o secador comercial consome 1500w/h, implicando poupança energética que se refletiu no menor custo de secagem. O trabalho desenvolvido tem o potencial de contribuir para o desenvolvimento da fileira das PAM e para o desenvolvimento regional.

Palavras-chave: Secagem; Eficiência-energética; Rentabilidade-energética, Plantas secas

Abstract

The aromatic and medicinal plants (PAM) production is a growing sector, with a predominance of small farms. The moisture content of fresh PAM is 60-80%, it is necessary to reduce to 10-12% moisture for packaging, therefore dehydration is essential. Purchasing a commercial dryer involves a large financial investment, which is difficult for small farms. In this context, a dryer of small dimensions and low voltage was developed. A construction, assembly and operation manual has been included to enable users to assemble and use their own dryer. The developed dryer was tested with the drying of coriander (*Coriandrum sativum*), laurel leaf (*Laurus nobilis*) and rosemary (*Rosmarinus officinalis*). The dried plants kept their color and aroma, appealing to potential customers. There was no statistically significant difference ($p<0.05$) between the % of plant moisture of the 3 species dried by the developed dryer and the dryer from the plant biology laboratory at ESAE/IPP, concluding that the dryer is viable. The drying time was 5 days for coriander and rosemary and 6 days for laurel; the drying cost was €23,426/kg for coriander, €7,169/kg for rosemary and €6,859/kg for laurel. On average, the cost of drying was €12.49/kg. The price differences are mainly due to the different moisture content of the plants. The dryer showed high energy efficiency due to low daily consumption (€0.86). The construction cost was 1/3 of the cost of the most similar commercial dryer (Chatron - €1117.14), it consumes only 183w/h while the commercial dryer consumes 1500w/h, implying energy savings that were reflected in the lower drying costs. The work developed has the potential to contribute to the development of the PAM sector and to regional development.

Key words: Drying; Energy-efficiency; Energy- profitability, Dry plants

Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

€ - euro

EPI – Equipamento de Proteção Individual

IVA - Imposto sobre o Valor Acrescentado

J - Joule

kg – quilograma

kW – quilowatt

l – litro

m – metro

mm – milímetro

°C – graus Celsius

Lab BV – laboratório de Biologia Vegetal da Escola Superior Agrária de Elvas

PAM – plantas aromáticas e medicinais

Secador JE – protótipo de secador João Esturrica

SI – Sistema Internacional de Unidades

W – watt;

Índice Geral

Agradecimentos i

Resumo ii

Abstract iii

Abreviaturas, Siglas e Acrónimos iv

Índice de Quadros vii

Índice de Figuras viii

1.Introdução e Objetivos 1

1.1. Introdução 1

1.2. Objetivos 2

2. Abordagem metodológica 3

2.1. Plantas aromáticas 3

2.2. Importância do processo de colheita para a qualidade do produto final 4

2.3. Conservação através de secagem 6

2.3.1. Secagem 6

2.3.2. Secagem natural / pré-secagem 7

2.3.3. Secagem artificial 8

2.3.4. Secagem híbrida 9

2.4. Secadores alimentados com energia solar 10

2.5. Clima mediterrânico e a sua influência na secagem de plantas 11

3. Caracterização e diagnóstico da situação de partida 12

3.1. Análise *swot* 12

3.1.1. Pontos fortes 12

3.1.2. Pontos fracos 13

3.1.3. Oportunidades 14

3.1.4. Ameaças 15

3.2. Soluções de secadores existentes no mercado 16

3.2.1 – Secadores elétricos 16

3.2.2 – Secadores híbridos 16
3.2.3 - Secador elétrico de pequenas dimensões 17
3.3. Exemplos de projetos de desenvolvimento de um secador 19
3.3.1. Secador elétrico experimental 19
3.3.2. Secador experimental com aquecimento por queima de gás de petróleo. 20
3.4. Espécies a secar 22
3.4.1. Coentros (*Coriandrum sativum* L.) 22
3.4.2. Louro (*Laurus nobilis* L.) 23
3.4.3. Alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) 23
3.5. Rendimento de secagem 24
3.5.1. Rendimento Real 24
3.5.2. Rendimento Teórico 24
3.5.3. Fórmula de cálculo de watts para quilowatt-hora 24
4 - Descrição do projeto 25
4.1. Desenvolvimento e montagem de um secador elétrico 25
4.1.1. Material 25
O desumidificador tem como objetivo remover a humidade do ar após a passagem do ar pelo material vegetal que se encontra a desidratar. Após a remoção da humidade, o ar vai ser impulsionado e aquecido novamente para as bandejas de secagem. 28
4.1.2. Custos do material e componentes 29
4.1.3. Métodos/processos de construção 30
4.2. Funcionamento do secador 39
5. Implementação e controlo 41
4.1. Tempos de secagem: primeira testagem 41
4.1.1. Coentros (*Coriandrum sativum* L.) 41
4.1.2. Louro (*Laurus nobilis* L.) 42
4.2. Tempos de secagem: segunda testagem 43
4.3. Eficiência energética 46
6. Considerações finais 49

7. Bibliografia 51

Anexos 55

Índice de Quadros

Quadro 1- Análise *swot* do projeto 12

Quadro 2 - Custos do material por unidade e total 29

Quadro 3 – Capacidade máxima do secador para as três espécies em estudo 41

Quadro 4 - Rendimento real da primeira testagem do secador 43

Quadro 5 – Resultados da ANOVA dos 3 métodos de secagem de PAM por espécie. Média de 3 amostras de 50 g 44

Quadro 6 - Resultados da ANOVA dos 3 métodos de secagem de PAM. 45

Quadro 7 - Potencia dos elementos elétricos do secador 46

Índice de Figuras

Figura 1 - Diagrama de secagem de plantas aromáticas. 7
Figura 2- Secador de PAM à temperatura ambiente 8
Figura 3 - Princípio da secagem por secador elétrico 8
Figura 4 - Secador solar híbrido com painéis fotovoltaicos 11
Figura 5 - Secador elétrico de 32,06 m³ 16
Figura 6 - Secador elétrico de 19.11 m³ 16
Figura 7 - Secador híbrido 17
Figura 8 - Secador Chatron avatar. 18
Figura 9 - Características dos secadores chatron avatar 18
Figura 10 - Esquema do secador elétrico experimental da Embrapa. 20
Figura 11 - Bandejas do secador da Universidade Federal de Viçosa 21
Figura 12- Vista da parte de traz do secador experimental da Universidade Federal de Viçosa. 21
Figura 13 - Coentros 22
Figura 14 - Loureiro 23
Figura 15 - Alecrim 23
Figura 16 - Croqui do projeto de construção do protótipo do secador 25
Figura 17 – Termostato digital, marca 'ELIWELL' 26
Figura 18 - Resistência térmica 26
Figura 19 - Tubo quadrado de 3*3 em INOX 27
Figura 20 - Folhas de INOX 1*2m 27
Figura 21 – Ventiladores elétricos da marca 'BRINSEA' 28
Figura 22 - Mini desumidificador 'Create Dryzone' da marca IKOHS 29
Figura 23 - Primeiro quadrado soldado da estrutura do secador 31
Figura 24 - Dois quadrados completos da estrutura do secador 31
Figura 25 - Estrutura principal do secador terminada 32
Figura 26- Estrutura e porta do secador 33
Figura 27 - Apoios para a folha em inox 33
Figura 28 - Corte da folha de inox 34
Figura 29 - Fixação da folha de inox 34
Figura 30 - Inserção de rodas na estrutura do secador 35
Figura 31 - Divisor do interior do desidratador 35
Figura 32 - Ferro para suporte de prateleira 36

Figura 33 - Primeiros suportes cortados e soldados 36
Figura 34 - Suporte dos ventiladores 37
Figura 35 - Folha de inox que separa a parte superior da parte inferior do secador e suporte dos ventiladores 37
Figura 36 - Suporte do posto de controlo 37
Figura 37 - Montagem da parte elétrica, interruptor e termostato 38
Figura 38 - Bandeja de secagem 38
Figura 39 - Circulação de ar no secador 40
Figura 40 - Coentros secos pelos três métodos 45
Figura 41 - Louro seco pelos três métodos 45
Figura 42 - Alecrim seco pelos três métodos 46
Figura 43 - Preços de eletricidade da EDP 47

1.Introdução e Objetivos

1.1. Introdução

Atualmente existem várias formas de conservar alimentos e subprodutos alimentares, desde o congelamento até à conservação em seco.

Nas plantas aromáticas e medicinais (PAM) a forma mais utilizada é a conservação pela via seca. Sendo assim, um dos custos adjacentes a uma exploração deste tipo será sempre um secador, permitindo produzir, recolher e desidratar o produto para o conservar mais tempo. Caso contrário, o produto seria altamente perecível.

O presente trabalho foi realizado visando suprir uma demanda desta área que é a de tecnologias apropriadas aos produtores de pequena dimensão.

No processo de secagem é extremamente importante que a planta seca mantenha a cor, aroma e propriedades da planta fresca. Quanto menor for o tempo de secagem, menos possibilidades haverá de deterioração do material, visto que as PAM frescas contêm 60-80% de água e secas devem ter entre 6-12%. A temperatura ideal de secagem é de 20° a 40°, conforme a espécie, não sendo aconselhável temperaturas superiores a 35° para evitar diminuição dos óleos essenciais e/ou degradação da cor (Cunha, 2014).

Deste modo, desenvolveu-se um projeto de um protótipo de secador com baixos custos não só de construção, mas também de funcionamento, visando assim uma desidratação fácil e mais económica para empresas desta área.

Este desidratador pode possibilitar que as pequenas empresas consigam ter acesso a este tipo de secagem com custos mais baixos. Esta secagem artificial permite a obtenção de produto com melhor qualidade que o obtido por secagem natural. O uso de secadores permite não só a diminuição do tempo de secagem, como também o controle das condições sanitárias. O produto fica protegido contra os ataques de insetos, pássaros e roedores, e com uma cor mais apelativa.

A estrutura deste desidratador consiste numa armação retangular dividida em dois compartimentos em que a parte de baixo se destina a retirar a humidade, aquecer e dar movimento ao ar, e a parte de cima onde se colocam as bandejas com o produto a desidratar.

A temperatura foi controlada através de um termostato presente na parte superior do desidratador. A humidade foi retirada com um desumidificador incluído na parte de baixo. O aquecimento foi feito por meio de uma serpentina de aquecimento.

1.2. Objetivos

Desenvolver um secador com baixos custos para que este possa ser adquirido ou construído por empresas de pequenas dimensões, testar o secador desenvolvido com algumas espécies de plantas aromáticas e/ou medicinais.

Baixos consumos de secagem de modo a aumentar a eficiência, tendo em conta que a eficiência é cada vez mais importante devido a que as margens de lucro do empresário agrícola serem cada vez mais baixas.

Testagem do secador e validação do protótipo de secador construído.

Contribuir para o desenvolvimento do setor das PAM, que coincide com objetivos do projeto Coop4PAM.

Contribuir para a diminuição da pegada de carbono, aumentando a eficiência energética e o desenvolvimento regional sustentável do Alentejo.

2. Abordagem metodológica

2.1. Plantas aromáticas

As plantas aromáticas e medicinais (PAM) são parte integrante do nosso dia-a-dia, sendo utilizadas em culinária, como condimento, e também em infusões e licores, em aromoterapia, em fitoterapia, em perfumaria e em cosmética.

O tempo de espera entre a colheita e a secagem deve de ser o mais curto possível, de modo a evitar alterações significativas na qualidade, nomeadamente na cor, sabor, valor nutritivo e perda de princípios ativos. As perdas dos princípios ativos que ocorrem depois da colheita são devidas principalmente à degradação pela luz, ação enzimática e oxidação. Sendo Portugal muito rico em PAM, é importante salvaguardar esse património (Ferreira, 2016).

As PAM devem apresentar-se frescas, limpas, isentas de danos provocados por pragas e doenças. Devem ter a cor, sabor e aroma caraterísticos da espécie e com a máxima concentração de óleos essenciais (Barata et al., 2018).

As PAM têm atraído amplo interesse de pesquisa científica devido às suas vastas aplicações comerciais em medicina, aromatizantes, corantes, fragrâncias e cosméticos. Os fitoquímicos encontrados nestas plantas, em particular os polifenóis, como o tanino, os flavonoides e o ácido ascórbico, têm sido sugeridos como ingredientes funcionais para atenuar doenças metabólicas humanas como por exemplo a diabetes. Devido ao baixo custo e à boa sustentabilidade ambiental, as PAM com as suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, são alternativas potenciais aos compostos sintéticos usados na indústria farmacêutica, perfumaria e produtos cosméticos (Xiang et al., 2020).

2.2. Importância do processo de colheita para a qualidade do produto final

A última operação que se realiza no campo antes da secagem é a colheita e, tal como as outras que a antecedem, é responsável pela qualidade do produto final. Logo é muito importante que esta seja bem elaborada, a mesma pode ser manual ou mecânica, em função da espécie ou parte da planta a colher, da área de colheita e da disponibilidade de equipamento adequado (Barata et al., 2018).

O sucesso da mesma, depende de algumas boas praticas:

- **Antes de colher**

O processo de secagem começa no processo de colheita;

Devem-se colher as plantas quando estas não estão húmidas ou molhadas;

Devem-se colher de preferência de manhã, após a planta estar seca do orvalho da noite. Esse horário coincide com o momento em que os óleos essenciais da planta estão mais concentrados.

- **Durante a colheita**

Deve evitar-se amachucar as plantas mais do que o necessário;

Deve-se reduzir o máximo possível a exposição das plantas ao sol, para evitar que se iniciem processos de fermentação que podem alterar o aspeto e a composição química da planta a ser posteriormente desidratada;

Deve-se colher o mais rápido possível e sem interrupções.

- **Depois da colheita**

Não deixar as plantas expostas ao sol;

Minimizar o tempo de transporte, logo convém ter o secador o mais perto possível do campo de produção (Moré et al., 2010).

A época de colheita das PAM depende da espécie e da parte da planta que se pretende utilizar/colher. Sendo que para fins culinários utilizam-se maioritariamente as folhas, quer as adultas, quer as mais jovens presentes nas extremidades dos ramos. Os princípios ativos, que conferem o aroma característico de cada espécie ou variedade de planta, concentram-se mais com o clima quente e seco. Nestas circunstâncias, as plantas começam a espigar (início de floração), ocorrendo uma exportação de nutrientes das folhas para a formação de flores e frutos,

tornando-se as folhas menos aromáticas e nutritivas. Assim sendo, a colheita de folhas deve ocorrer no período que antecede a floração (Valagão, 2010).

Para a obtenção de um produto de maior qualidade, a colheita deve ser efetuada quando há um equilíbrio entre a maior produção de biomassa e o maior teor de óleos essenciais. Esse momento é diferente em cada espécie e é ainda função da parte da planta que se pretende coletar. Por se utilizarem as folhas, o alecrim, a erva-cidreira, a erva-príncipe, o coentro, as plantas do género *Mentha* e os tomilhos devem ser coletados antes da floração, que em grande parte destas espécies ocorre na primavera. No caso de se pretenderem utilizar as folhas e as flores, como por exemplo no orégão e no rosmaninho, devem colher-se as plantas em plena floração. Podem também utilizar-se as sementes (ex.: coentros) por serem muito aromáticas, devendo colher-se as plantas com as sementes já maduras, ou seja, quando completarem o seu ciclo vegetativo, mas antes de terminarem de secar completamente (Barata, et al., 2018).

Na maior parte das espécies de PAM, a colheita ocorre de junho a setembro, podendo prolongar-se até novembro conforme o clima do ano ou a variedade. Após a colheita, os produtos devem ser rapidamente transportados para um local fresco, onde por fim serão sujeitos a uma triagem, limpeza e acondicionamento (Barata et al., 2018).

2.3. Conservação através de secagem

A Secagem é um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos e um dos processos mais utilizados hoje em dia (Ferreira, 2005; Rodrigues, 2007).

2.3.1. Secagem

A secagem é um processo físico que consiste na redução de água por evaporação, de modo a aumentar o tempo de conservação de um produto. A secagem permite (Ferreira, 2005):

• Estabilizar a atividade microbiológica e reduzir as reações químicas e enzimáticas;

• Dispor do produto durante muito mais tempo sem que ele perca as suas propriedades;

• Reduzir o peso dos produtos e consequentemente os custos de transporte e de armazenamento.

A secagem realizada a temperaturas superiores a 50 °C causa escurecimento nas folhas; mas a velocidade do ar durante a secagem não tem efeitos sobre a tonalidade das folhas secas (Gasparin et al., 2014)

Durante a secagem os produtos deverão ser protegidos de poeiras, de insetos e da exposição direta aos raios solares, visto que estes são agentes que provocam perda de qualidade dos mesmos (Ferreira, 2005).

A secagem diminui a velocidade de deterioração do material, devido à redução do teor de água, que consequentemente reduz a ação das enzimas, bactérias, leveduras e bolores, o que possibilita a conservação das plantas por um maior período de tempo (Lopes, 2014).

Atualmente continua a ser um desafio preservar adequadamente as propriedades farmacológicas e os compostos bioativos correspondentes através do processamento de plantas herbáceas, a secagem é um dos processos desafiadores para reter as propriedades farmacológicas. Geralmente é utilizada para preservar plantas e os seus compostos bioativos na pós-colheita. Este processo irá remover a água dos tecidos das plantas para reduzir a atividade microbiológica e preservar esses compostos bioativos (Choo & Chua, 2019).

A temperatura de secagem deve diminuir progressivamente, começando nos 55°C e acabando nos 46°C, para uma maior eficiência de secagem (Martinov et al., 2010).

A qualidade da secagem depende muito dos processos que a antecedem, tal como se pode observar na figura 1.

FIGURA 1 - DIAGRAMA DE SECAGEM DE PLANTAS AROMÁTICAS. FONTE: (BARATA ET AL., 2018)

2.3.2. Secagem natural / pré-secagem

A secagem natural é um processo feito à sombra, de modo a evitar a degradação dos óleos essenciais e a perda de cor e do aroma, e em locais quentes e arejados, protegido de poeiras, insetos e outros animais. É um processo lento que depende das condições atmosféricas, pelo que é viável para locais onde ocorrerem temperaturas elevadas, humidade relativa baixa e boa ventilação. As plantas são espalhadas em tabuleiros (figura 2), em camadas finas, ou pendurados em pequenos molhos. Este processo pode também ser utilizado como pré-secagem, deste modo permitindo a poupança de energia visto que no clima mediterrânico existem excelentes condições para a secagem natural (Barata et al., 2018).

Na secagem tradicional, métodos como secagem ao sol e secagem ao ar têm sido utilizados desde há muito tempo para a desidratação de alimentos devido à sua simplicidade e baixo custo operacional. No entanto, devido a esta ser ao ar livre ao facto de ser um processo demorado, existe risco elevado dos alimentos serem contaminados com poeiras e microrganismos (Choo & Chua, 2019).

A exposição direta às radiações solares danifica a cor, a textura e aroma desejados. As plantas ficam com a capacidade de reidratação, o que leva a produtos de baixa qualidade (Bhardwaj et al., 2019).

FIGURA 2- SECADOR DE PAM À TEMPERATURA AMBIENTE. FONTE: (CUNHA, 2014)

2.3.3. Secagem artificial

A secagem artificial ou forçada com ar quente, pretende a obtenção de produtos de elevada qualidade e num menor tempo, quando comparado com a secagem natural, no entanto tem um custo mais elevados. É feita com recursos a secadores industriais convencionais com controlo das propriedades do ar de secagem, como a temperatura, humidade relativa e ventilação (figura 3). São constituídos por uma câmara de secagem, por um sistema de aquecimento e por um sistema de circulação forçada do ar (Barata et al., 2018).

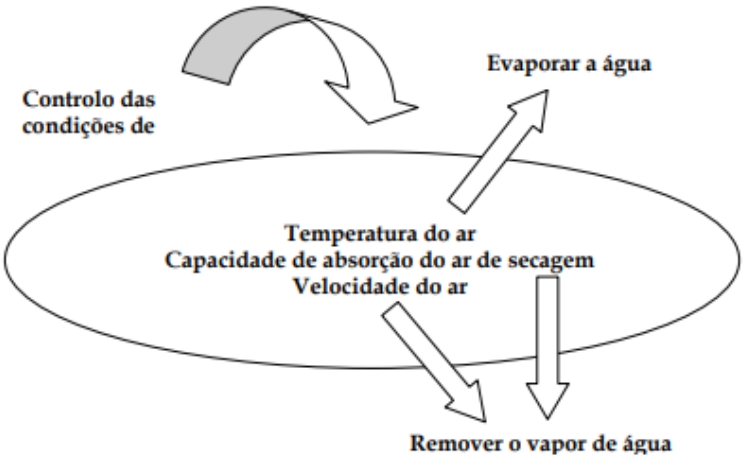

FIGURA 3 - PRINCÍPIO DA SECAGEM POR SECADOR ELÉTRICO. FONTE: (BARATA ET AL., 2018).

A secagem por convecção com ar quente envolve dois tipos de difusão de humidade durante o processo de transferência de calor, o primeiro tipo é a difusão externa, em que o teor de humidade da superfície se difunde para o meio de secagem e o segundo tipo é a difusão, interna, onde o conteúdo de humidade interna se difunde para a superfície de secagem (Choo & Chua, 2019).

A temperatura do ar de secagem é muito importante de modo a evitar a perda dos princípios ativos das plantas, os quais são sensíveis à temperatura. Assim, as folhas, os caules e as flores devem ser secas a uma temperatura entre os 30 e os 40°C, ao passo que no caso das raízes, cascas e sementes a temperatura de secagem pode chegar os 60°C (Barata et al., 2018).

A secagem deve dar-se por terminada quando as plantas começarem a ficar quebradiças (folhas e caules), o que corresponde a um teor de humidade de 10% a 12% (Barata et al., 2018).

O processo de secagem é necessário para conservar as plantas, ou partes das plantas, durante o armazenamento. Para que o processo de secagem dê origem a um produto seco de qualidade deve-se estabelecer um método de secagem para cada espécie ou parte da planta a secar, tendo em conta (Moré et al., 2010):

- Temperatura de secagem:
- Humidade relativa do secador;
- Tempo de secagem;
- Percentagem de humidade do material a secar;
- A estrutura do material (herbácea/ lenhosa).

As altas temperaturas podem causar degradação térmica indesejável da qualidade, principalmente no que diz respeito à textura, à cor e ao valor farmacológico das plantas, causado pela transferência de calor por convecção, que resulta em superaquecimento da superfície porque a taxa de evaporação é superior à taxa de difusão da água para a superfície. Eventualmente, resulta no endurecimento da superfície e perda significativa de compostos voláteis durante o processo (Martynenko & Kudra, 2015).

2.3.4. Secagem híbrida

Este tipo de secagem inclui dois ou mais métodos de secagem num só sistema. Existem dois tipos de sistemas de secagem híbridos, um com secagem híbrida de estágio único e outro com uma secagem híbrida de dois estágios.

A secagem híbrida de estágio único combina dois métodos de secagem, como a secagem por micro-ondas e a secagem a vácuo num único sistema, constituído por uma unidade que fará a secagem a vácuo por micro-ondas.

A secagem híbrida de duas fases é dividida em duas fases de secagem, uma fase de pré-secagem e uma fase de secagem de acabamento. Portanto, este sistema de secagem exige duas etapas separadas (Choo & Chua, 2019).

2.4. Secadores alimentados com energia solar

A energia solar, dependendo da sua aplicação, pode ser classificada de duas formas, a energia térmica e a energia a fotovoltaica; em ambas as situações a base é a energia solar. Os dois sistemas são distintos, o térmico pode ser conseguido por coletores planos e o elétrico por painéis fotovoltaicos. Os dois sistemas são utilizados de forma separada embora possam ser utilizados em conjunto em secadores solares híbridos com painéis fotovoltaicos.

Este sistema pode gerar energia térmica e elétrica simultaneamente, através de um painel fotovoltaico e de um coletor plano, podendo assim eliminar a energia elétrica, ou seja, este sistema pode tornar-se autónomo.

São exemplos deste sistema, secadores solares com um coletor de captação de radiação solar para gerar energia térmica para aquecer o ar do sistema e um painel fotovoltaico para fazer trabalhar a ventoinha que efetua a circulação forçada do ar da câmara de secagem.

No caso do sistema ser completamente alimentado por energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos, o número de células do painel deve ser calculado para se produzir energia suficiente para todo o sistema (figura 4), inclusive o aquecimento do ar. Este sistema deverá ser reforçado com um acumulador de energia para uma eficiência mais elevada, caso contrário de noite este sistema é interrompido (Lopes, 2014).

FIGURA 4 - SECADOR SOLAR HÍBRIDO COM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS. FONTE: (FIALHO, 2015)

2.5. Clima mediterrânico e a sua influência na secagem de plantas

O clima mediterrâneo recebeu este nome devido à sua proximidade com o Mar Mediterrâneo. Porém este aparece em outras áreas distantes, como o centro do Chile e Austrália, além da região Sul e litoral da Califórnia.

Este clima é caracterizado por um verão quente e seco e um inverno com temperaturas amenas e a ocorrência de chuvas, que ocorrem por volta de três a quatro meses, mas com uma pluviosidade baixa, por volta dos 500 mm anuais.

A vegetação presente em locais com este clima é denominada de vegetação mediterrânica (Lopes, 2014).

Tendo em conta que o clima mediterrânico tem parte do seu ano quente e seco, é muito favorável à secagem natural. No entanto, no inverno este tipo de secagem é mais difícil, por ser frio e húmido, daí nasce a necessidade de auxílio de secadores (secagem artificial) que vão complementar a secagem natural para se obter uma secagem perfeita ao longo de todo o ano.

3. Caracterização e diagnóstico da situação de partida

3.1. Análise *swot*

O quadro 1 abaixo descreve sucintamente os pontos fortes, os pontos fortes, as oportunidades e as ameaças deste projeto em relação ao mercado de secadores do setor das aromáticas (tabela 1).

Quadro 1- Análise *swot* do projeto

	Pontos Fortes	**Pontos Fracos**
Fatores Internos	1. Responsabilidade ambiental; 2. Valorização de produtos artesanais; 3. Baixo custo de materiais de construção; 4. Auxiliar pequenos produtores;	1. Inexperiência do promotor; 2. Complexidade de montagem; 3. Saber onde encontrar os materiais necessários para o seu desenvolvimento; 4. Falta de documentos técnicos;
	Oportunidades	**Ameaças**
Fatores Externos	1. Crise económica; 2. Parceria com universidade e com empresas da área para resolução de problemas; 3. Auxiliar pequemos produtores; 4. Tornar rentáveis pequenas explorações e autoconsumos; 5. Cooperação com entidades do sector das PAM	1. Crescimento da oferta de novas empresas; 2. Condições edafo-climáticas favoráveis à secagem natural; 3. Produtos certificados e com selos de qualidade europeus;

3.1.1. Pontos fortes

1. Responsabilidade ambiental

Este protótipo tem entre os seus objetivos, a finalidade de ter um baixo custo de secagem, dai serem escolhidas tecnologias de baixo consumo energético para a sua parte elétrica.

2. Valorização de produtos artesanais

O artesanato propriamente dito tem como característica uma produção reduzida. Para explorações agrícolas com baixas produções, com dificuldade financeira de aquisição de um desidratador, este protótipo pode valorizar os seus produtos com um baixo custo.

3. Baixo custo de materiais de construção

O custo de elaboração do desidratador é baixo, o material necessário tem um custo reduzido comparativamente com o custo de um desidratador comercial já pronto a utilizar, dando assim a oportunidade aos pequenos produtores de ter esta tecnologia de um modo económico.

4. Auxiliar pequenos produtores

Quando se começa uma produção, não existe especialização; no sector das PAM não é diferente. Logo, o pequeno agricultor pode construir ou contratar o serviço de construção/montagem do seu próprio secador com a capacidade que necessite, de uma maneira fácil e económica em relação às ofertas existentes no mercado.

3.1.2. Pontos fracos

1. Inexperiência do promotor

Sendo um protótipo, este produto não tem manual de instruções de tempo e temperatura para cada espécie a secar, logo, estes estudos devem ser desenvolvidos e otimizados com a experiência da secagem feita pelo utilizador. No entanto, a partilha de informação com outros agricultores poderá minorar este ponto fraco.

2. Complexidade de montagem

Tendo em conta que toda a estrutura é soldada e rebitada, é necessário ter alguns conhecimentos e equipamentos para o efeito. Caso contrário, pode tornar-se difícil ou quase impossível a sua construção. A implementação da parte elétrica também necessita de alguns conhecimentos prévios nesta área. A má execução de qualquer passo da montagem pode tornar inviável o funcionamento do desidratador.

3. Saber onde encontrar os materiais necessários

Nem todos os materiais que são necessários se encontram no mesmo local de comércio. O termostato, os ventiladores e a resistência elétrica são fáceis de encontrar em sites como o "sai da casca"; o desumidificador encontra-se facilmente em lojas de eletrodomésticos. O

restante material como tubos de inox, folhas de inox, rodas, rebites etc., encontram-se em lojas com produtos de serralharia.

4. Falta de documentos técnicos

Devido a ser um protótipo com as primeiras utilizações neste momento, não existem dados de tempos de secagem e de temperaturas de secagem para todos os produtos que podem ser desidratados (PAM e outros produtos agrícolas). Posteriormente, deverá ser desenvolvido um manual de utilização do desidratador.

3.1.3. Oportunidades

1. Crise económica

A crise económica torna ainda mais difícil a iniciação de uma atividade económica (empresa) e no que diz respeito a empresas de pequena dimensão, com parca capacidade financeira, ainda mais difícil se torna. Logo, este protótipo pode ser uma boa alternativa para baixar custos de aquisição de um desidratador.

2. Parceria com universidade e com empresas da área para resolução de problemas

Quando se fala em protótipos, pensa-se logo em possibilidades de melhoria, com a parceria com universidades ou empresas do setor é possível detetar falhas e corrigi-las, pode-se também desenvolver com maior precisão uma tabela de tempos de secagem e eficácias nas variadas espécies de PAM ou outros produtos a desidratar.

3. Auxiliar pequenos produtores

Colaborar com pequenos produtores de modo a que, entre todos, possamos melhorar o projeto. Esta colaboração terá em conta as dimensões das explorações para a construção de um secador de acordo com as necessidades de cada produtor. Deste modo, os produtores podem-se auxiliar entre si.

4. Tornar rentáveis pequenas explorações e autoconsumos

Mais do que as pequenas explorações, o autoconsumo é uma modalidade que cada vez está mais em voga, logo é necessário criar soluções para todas as pessoas que necessitam de secar pequenas porções de plantas ou outros produtos alimentares.

5. Cooperação com entidades do sector das PAM

Uma colaboração com as entidades da área das PAM como o Centro de Competências para as PAM, ou o observatório transfronteiriço para as PAM (do projeto Coop4pam) que facilitam a difusão de conhecimentos e a partilha de experiências e oportunidades no espaço transfronteiriço.

3.1.4. Ameaças

1. Crescimento da oferta de novas empresas

Existe uma grande força no comodismo, logo é muito mais fácil adquirir construído do que construir algo que se necessita. Portanto, como existem ofertas no mercado, mesmo que mais caras, são concorrentes deste protótipo tendo em conta que este não se comercializa já pronto a utilizar.

2. Condições edafo-climáticas favoráveis a secagem natural

O clima mediterrâneo tem altas potencialidades para a secagem natural, deste modo a secagem natural é uma ameaça à secagem artificial. Portanto, só a qualidade da secagem pode fazer com que a opção seja pela secagem artificial. A secagem artificial também pode complementar a secagem natural, sobretudo no Outono/Inverno.

3. Produtos certificados e com selos de qualidade europeus

O reconhecimento internacional de um produto requer uma qualidade e eficácia extrema, estes produtos certificados são uma forte oposição ao protótipo, mesmo que sejam vendidos mais caros, tendo em conta que já são produtos estudados e testados em larga escala.

3.2. Soluções de secadores existentes no mercado

3.2.1 – Secadores elétricos

A figura 5 representa um modelo standart de secador elétrico de 32,06 m³ constituído por uma estrutura metálica de 3mm, revestida por painéis isotérmicos de 30mm, cujas dimensões são de 6 metros de comprimento, 2,44 metros de largura e 2,60 metros de altura. O preço de mercado deste secador era de 16 500.00€ (Iva 23% não incluído) (Fialho, 2015).

FIGURA 5 - SECADOR ELÉTRICO DE 32,06 M³, FONTE: (FIALHO, 2015)

A figura 6 representa o modelo standart de secador elétrico de 19.11 m³, constituído por uma estrutura metálica de 3mm, revestida por painéis isotérmicos de 30mm, as suas dimensões são de 3.0 m de comprimento por 2.45 m de largura e uma altura de 2.60 m. O preço de mercado deste secador era 10 500.00€ (Iva 23% não incluído) (Fialho, 2015).

FIGURA 6 - SECADOR ELÉTRICO DE 19.11 M³. FONTE: (FIALHO, 2015)

3.2.2 – Secadores híbridos

A figura 7 apresenta um secador solar híbrido, constituído por uma estrutura de chapas metálicas com 3mm de grossura forradas no seu interior com painéis isotérmicos de 30mm. Para aquecimento do interior tem sensores de temperatura e humidade calibrados. Durante a

noite o aquecimento funciona a energia elétrica da rede; durante o dia o aquecimento funciona por painéis solares, originando uma elevada poupança de energia. Para a admissão e escape do ar da câmara de secagem são utilizadas condutas de ventilação, equipadas na extremidade com 2 extratores centrífugos. De modo a ser mais eficaz a retirar a humidade dos produtos, este secador tem um desumidificador por condensação com capacidade extrativa de 20 l água/dia. No seu interior possui mesas de secagem com tabuleiros amovíveis de 2,00 × 0,95 m. O preço de mercado deste secador era 18 800.00€ (Iva 23% não incluído) (Fialho, 2015).

FIGURA 7 - SECADOR HÍBRIDO FONTE: (FIALHO, 2015)

3.2.3 - Secador elétrico de pequenas dimensões

A figura 8 representa o secador compacto Chatron, que é um secador híbrido, mais compacto, que foi desenvolvido como uma oportunidade de poupança de energia e com a característica de ser de dimensões pequenas (900 ou 1050 litros de capacidade). Este secador vem equipado com 10 bandejas de secagem com 800mm de largura por 900mm de comprimento, com painel solar, o que lhe permite ter uma eficiência energética de 80% quando comparado com outros secadores do mercado (figura 9). O preço de mercado deste secador era 1117,14€ (IVA 23% não incluído) (Chatron, 2020).

FIGURA 8 - SECADOR CHATRON AVATAR. FONTE: (CHATRON, 2020)

	Modelo AVATAR 20	Modelo AVATAR 30
Volume interior (L)	900	1.050
Dimensões exteriores (mm) CxLxA	1.030 x 900 x 1030	1.030 x 900 x 1200
Peso (kg)	90	110
Potência solar (W)	560	800
Potência eléctrica (Kw)	1.5 / 3	1.5 / 3

FIGURA 9 - CARACTERÍSTICAS DOS SECADORES CHATRON AVATAR FONTE: (CHATRON, 2020)

3.3. Exemplos de projetos de desenvolvimento de um secador

3.3.1. Secador elétrico experimental

O sistema de secagem é montado dentro de uma caixa de esferovite, tendo a sua dimensão em função do tamanho da caixa (Cornejo, 2018).

No interior desta caixa é instalado o sistema de aquecimento com ventilação e uma estrutura de tubos de PVC com bandejas. O aquecimento e a circulação do ar de secagem são realizados por meio de um aquecedor de ambiente, composto por resistências elétricas e ventilação. Existem no mercado várias marcas com dimensionamento similares, com voltagem de 110 ou 220 volts e potência de 1500 a 2000 Watts (Cornejo, 2018).

A caixa de esferovite tem capacidade para 80 litros, onde serão instalados os sistemas de aquecimento e ventilação e a estrutura tubular com as bandejas. Para sustentar as bandejas onde será colocado o produto a ser desidratado, utiliza-se uma estrutura tubular de PVC de 25 mm. As medidas internas da estrutura tubular são: 650 mm de largura x 450 mm de comprimento x 300 mm de altura. São utilizadas bandejas de inox de forno elétrico residencial nas dimensões se 36 x 30 cm. Estas são fixadas em fendas feitas na estrutura em PVC (Cornejo, 2018).

O material a ser desidratado será distribuído sobre as bandejas e o aquecedor, por meio das suas resistências e ventilação, promoverá a remoção da água, resultando na obtenção de um produto com humidade reduzida, ou seja, desidratado (Cornejo, 2018).

É de fundamental importância, na hora de utilizar o secador, colocar a tampa na posição transversal à caixa para que haja uma abertura tanto para entrada como para saída do ar, de modo a manter a temperatura e permitir a remoção da humidade do material que está a ser desidratado.

O desenho esquemático (figura 10) descreve com detalhes o sistema de secagem em funcionamento (Cornejo, 2018).

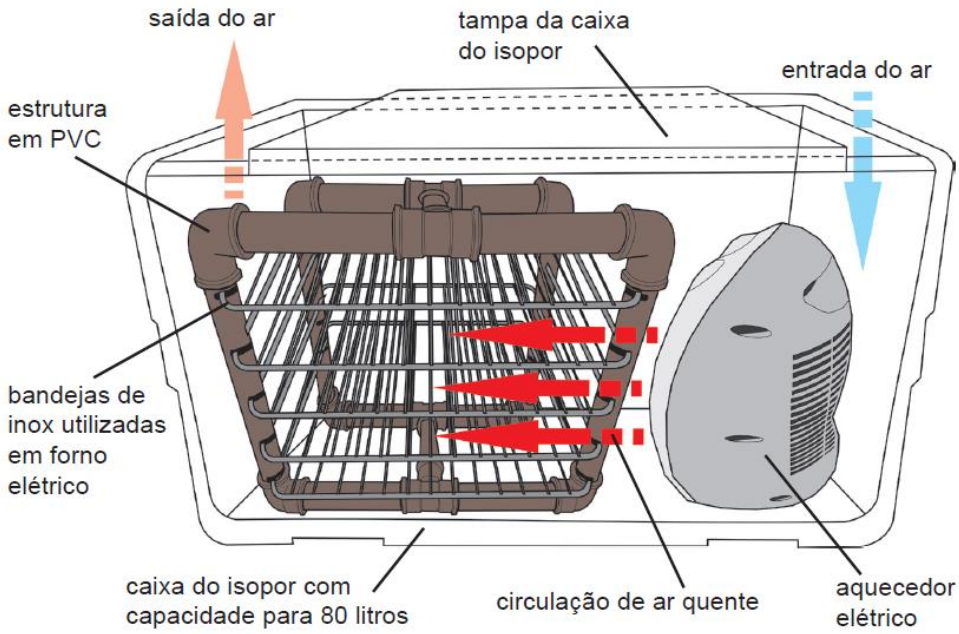

FIGURA 10 - ESQUEMA DO SECADOR ELÉTRICO EXPERIMENTAL DA EMBRAPA. FONTE: (CORNEJO, 2018)

3.3.2. Secador experimental com aquecimento por queima de gás de petróleo

Antes da construção foram comparados dois métodos de secagem, em estufa e em sala com desumidificador, e observaram que na secagem natural as plantas apresentaram aparência e aroma inadequados e inferiores aos outros métodos de secagem artificiais (Melo & Radunz, 2002).

Este secador experimental foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, tendo como fonte de alimentação a queima de gás liquefeito de petróleo (figura 11).

O secador foi elaborado com chapas de aço galvanizado e tem como isolamento térmico lã de rocha. A câmara de secagem é constituída por 4 bandejas de alumínio (1m x 0,5m x 0,15m), perfuradas na sua parte inferior e superior, para receberem um fluxo de ar ascendente (figura 12).

A capacidade de secagem do secador foi de 10 kg de plantas frescas, distribuídas uniformemente pelas 4 bandejas (Melo & Radunz, 2002).

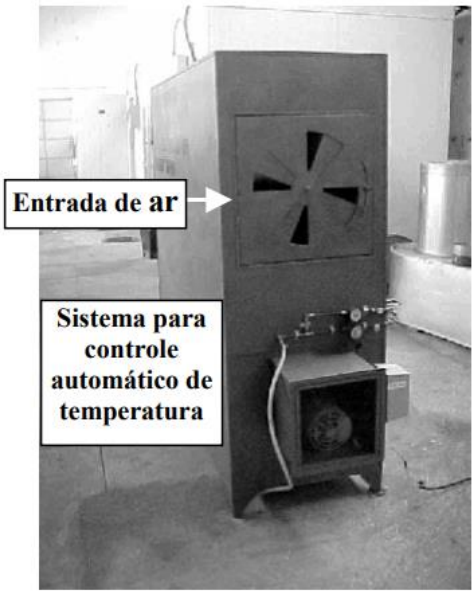

FIGURA 12- VISTA DA PARTE DE TRAZ DO SECADOR EXPERIMENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. FONTE: (MELO & RADUNZ, 2002)

FIGURA 11 - BANDEJAS DO SECADOR DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. FONTE: (MELO & RADUNZ, 2002)

Nestes dois casos de estudo pode-se observar que os dois têm fontes de energia destintas, um é elétrico e outro é alimentado com gás. Havendo uma tendência e incentivos para substituir na agricultura as fontes de energia não renováveis por fontes de energia menos poluidoras como por exemplo a eletricidade ou a energia solar.

3.4. Espécies a secar

Este projeto tem como finalidade a secagem de algumas plantas presentes numa pequena quinta, que está a dar os primeiros passos no mundo das plantas aromáticas, condimentares e medicinais. Contudo, o valor para investimento financeiro não era muito elevado, por isso, pretendeu-se desenvolver um secador de baixos custos para as espécies existentes na exploração. Escolheram-se estas três espécies por terem ciclos de vida e teores de humidade distintos, podendo ser representativas de três tipologias de PAM (herbáceas, arbustivas semi-lenhosas e árvores lenhosas). Os coentros de ciclo anual e teores de humidade elevados serão representativos de outras hortícolas como a salsa e o aipo. O loureiro é uma árvore de folha persistente e poderá ser representativa de outras PAM com caules lenhificados como a oliveira. O alecrim é um arbusto, de folha persistente e caule sub-lenhoso, poderá ser representativo de outras PAM como as lavandas e a salva.

3.4.1. Coentros (*Coriandrum sativum* L.)

Os coentros cujo nome científico é *Coriandrum sativum* L. pertencem à família *Apiaceae*. É uma planta herbácea, anual, ramificada e aromática com cerca de 30 a 50 cm de altura, nativa da região Mediterrânea. Possui folhas compostas bipenadas (figura 13), de segmentos irregulares, flores pequenas e brancas que dão origem a frutos pequenos e redondos.

FIGURA 13 - COENTROS

Popularmente as folhas são utilizadas na culinária como condimento e aromatizante em fresco (Lopes, 2014b).

Os caules são eretos, ramificados na parte superior, com folhas compostas, tendo as folhas inferiores folíolos arredondados e as folhas superiores são divididas em folíolos finos e alongados. As inflorescências são umbelas compostas terminais, com cerca de 7-10 flores brancas a levemente rosadas. O fruto é aromático e globoso de cor amarelo-acastanhada quando maduro. As partes utilizadas para consumo são as folhas, as flores e os frutos (Póvoa & Delgado, 2015).

3.4.2. Louro (*Laurus nobilis* L.)

O louro tem como nome científico *Laurus nobilis* L. e pertence à família *Lauraceae;* é uma planta perene de porte arbóreo com troncos e ramos esverdeados, nativa do clima mediterrâneo, mas naturalizada em vários locais da europa. As suas folhas são muito aromáticas (figura 14).

FIGURA 14 - LOUREIRO

Atualmente as suas folhas são muito utilizadas na gastronomia mediterrânica como condimento, especialmente em pratos de carne (Jardim botânico UTAD, 2020).

É uma árvore de com um porte de 5 a 10 metros, com uma copa densa, tronco direito e casca lisa, folhas oblongo-lanceoladas de cor verde escuro e brilhante na parte superior e mais baças na parte inferior da folha, em alguns casos o rebordo da folha é ondulado (Villar, 1998).

3.4.3. Alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.)

Rosmarinus officinalis L. é uma planta semi-arbustiva que tem como nome comum alecrim, pertence à família das *Lamiaceae*, é muito comum na região mediterrânea aparecendo espontaneamente em matos abertos. A planta tem porte arbustivo, com caules eretos, com altura até 1,2 metros, muito ramificado. As folhas são persistentes, de inserção oposta, simples, inteiras e lanceoladas (figura 15). Possuem superfície rugosa e pelos glandulares. As flores reúnem-se em conjuntos de 5 a 15 flores, em espiguetas de cor púrpura ou azul. Toda a planta tem um aroma muito agradável, sendo muito utilizada para fins medicinais e culinários (Jardim botânico UTAD, 2022; Flora-on, 2014).

FIGURA 15 - ALECRIM

3.5. Rendimento de secagem

A importância de determinar o rendimento de secagem prende-se ao facto de que é necessário saber-se a percentagem de humidade que se retirou e quanto tempo demorou a retirar essa humidade das plantas.

3.5.1. Rendimento Real

O rendimento real de secagem é determinado pela razão entre o peso da planta já seca e o peso da planta em fresco, expresso em percentagem (%), como na fórmula abaixo (Martins et al., 2001):

Rr (%) = (P2 / P1) x 100

Rr – Rendimento real

P1 – Peso da planta fresca

P2 – Peso da planta seca

3.5.2. Rendimento Teórico

No rendimento teórico, o cálculo também tem como base os valores de humidade das plantas frescas e já secas, como na fórmula abaixo descrita (Martins et al., 2001):

Rt (%) = (1 - H1) / (1 – H2) x 100

Rt – Rendimento teórico

H1 – Teor de humidade da planta fresca

H2 – Teor de humidade da planta seca

3.5.3. Fórmula de cálculo de watts para quilowatt-hora

A unidade de energia do Sistema Internacional de Unidades (SI) é o joule (J). Um quilowatt-hora representa a energia elétrica consumida por um aparelho de potência 1 kW durante 1 hora de funcionamento. A relação entre o quilowatt-hora e o joule é: 1 kWh = 3,6 x 106 J.

A energia (E) em quilowatt-hora (kWh) é igual à potência (P) em watts (W), multiplicada pelo período de tempo t em horas (hr), dividido por 1000 (Dias, 2021):

$$E_{(kWh)} = P_{(W)} \times t_{(hr)} / 1000$$

Então: kWh = W × hr / 1000

4 - Descrição do projeto

4.1. Desenvolvimento e montagem de um secador elétrico

Depois de analisar alguns dos produtos existentes no mercado resolveu-se desenvolver um protótipo de secador com o objetivo de desidratar algumas espécies de PAM. Optou-se por um secador elétrico, pois à priori terá menor pegada de carbono, mas também pela facilidade na aquisição das componentes no mercado. Descartaram-se as opções de secadores com painéis solares dado o elevado preço de mercado destes materiais, sendo que era necessário elaborar um secador de baixo custo de construção.

4.1.1. Material

Para a concepção teórica e elaboração do esboço (figura 16) de construção deste secador foi necessário um projeto baseado nas fontes bibliográficas existentes e no princípio de funcionamento deste tipo de tecnologia.

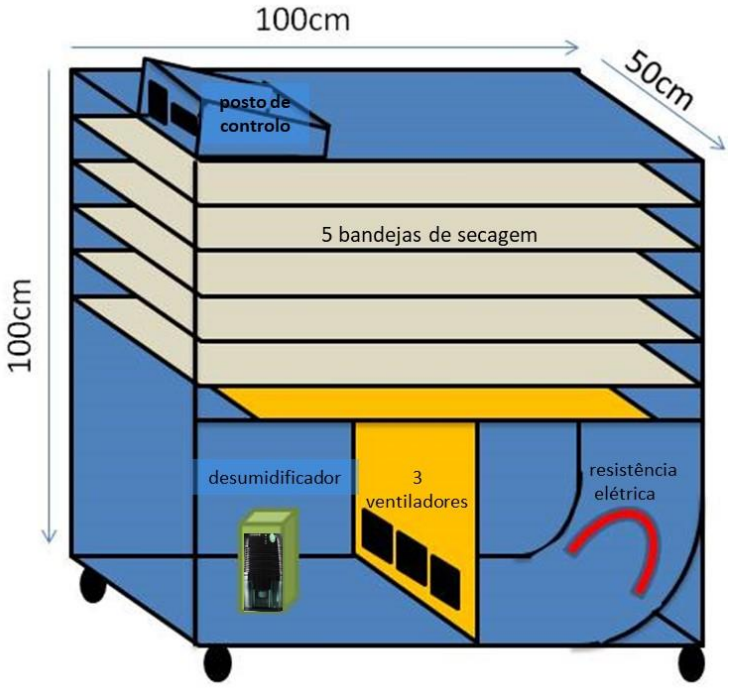

FIGURA 16 - CROQUI DO PROJETO DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO SECADOR

De acordo com este esboço de projeto, foi necessário adquirir para a sua construção alguns materiais, os quais foram escolhidos de modo a que o secador fosse económico, de fácil construção e de fácil funcionamento.

O termostato digital da marca '**ELIWELL 0,1ºC**' (figura 17) funciona em décimas de grau (0,1°C) e amplitude de funcionamento de -50°C a + 150°C.

O termostato permite controlar a temperatura no interior do secador de modo a ajustar a temperatura às necessidades de secagem de cada espécie de plantas.

FIGURA 17 – TERMOSTATO DIGITAL, MARCA 'ELIWELL'

A resistência térmica (figura 18) com 100 watts de potência, deve ser conectada ao termostato, com a finalidade de aquecer o interior do desidratador e manter a temperatura constante, de acordo com a temperatura selecionada no termostato.

FIGURA 18 - RESISTÊNCIA TÉRMICA

As quatro varas em inox (figura 19) com 6 metros de comprimento e tubo de 4 centímetros de diâmetro foram utilizadas para construir a estrutura do secador, de modo a ser um objeto leve e com boa estabilidade. Escolheu-se INOX para garantir bom estado de higiene

do material a secar, pois pretende-se desidratar produtos que posteriormente vão ser consumidos.

FIGURA 19 - TUBO QUADRADO DE 3*3 EM INOX

As 3 folhas de 1x2 metros em inox (figura 20), foram utilizadas para construir o revestimento de todo o secador, de modo a evitar trocas gasosas com o exterior, porque só assim se podem controlar as condições de secagem, podendo assim adaptar-se às especificidades de cada planta, flor ou fruto.

Sabe-se que os metais são bons condutores térmicos, mas neste caso o isolamento não era essencial, o objetivo foi conferir à estrutura estanquicidade com o exterior. Tendo em conta que o ar vai arrefecendo à medida que vai se aproxima do mini desumidificador, a remoção da humidade do ar torna-se mais eficiente.

FIGURA 20 - FOLHAS DE INOX 1*2M

Foram usados três ventiladores elétricos da marca 'BRINSEA' (figura 21) com 220/230V de tenção e 16 Watts de potencia, com dimensões, (A x L x P), (12 x 12 x 2,5 cm). Estes ventiladores têm longa duração e não necessitam qualquer lubrificação ou manutenção.

Este equipamento vai garantir a circulação de ar dentro da câmara de desidratação, de modo a levar ar quente e seco para a câmara e retirar ar mais frio e húmido. Foram colocados três ventiladores no projeto, por um lado para que a coluna de ar movido fosse maior, contribuindo assim para uma maior eficiência; por outro lado, para que se um dos ventiladores sofrer de avaria a meio de um processo de secagem, não haver comprometimento do material vegetal no interior do secador.

Figura 21 – Ventiladores elétricos da marca 'BRINSEA'

Foi utilizado um mini desumidificador 'Create Dryzone' da marca IKOHS (figura 22) com capacidade do reservatório de 0.5l, extração de água de 250 l/dia e 30 W de potência.

O desumidificador tem como objetivo remover a humidade do ar após a passagem do ar pelo material vegetal que se encontra a desidratar. Após a remoção da humidade, o ar vai ser impulsionado e aquecido novamente para as bandejas de secagem.

FIGURA 22 - MINI DESUMIDIFICADOR 'CREATE DRYZONE' DA MARCA IKOHS

4.1.2. Custos do material e componentes

O quadro 2 contem os custos de material e componentes que foram utilizados para a construção do desidratador.

Quadro 2 - Custos do material por unidade e total

Material	Nº de unidades	Custo unitário com IVA	Valor total
Termostato	1	39,90€	39,90€
Resistência	1	16,80€	16,80€
Tubo de inox	4	9,34€	37,36€
Folha de inox	3	13,52€	40,56€
Ventilador	3	11,90€	35,70€
Roda	4	1,60€	6,40€
Rebites	4	0,80€	3,20€
Mini desumidificador	1	49,99€	49,99€
Interruptor	1	6,23€	6,23€
Discos de rebarbadora 115	6	0,80€	4,80€
Elétrodos	50	0,05€	2,50€
Parafusos auto roscantes	12	0,05€	0,60€
Abraçadeiras	2	1,10€	2,20€
Puxador de porta	1	0.50€	0,50€

Fixador de porta	2	0,80€	1,60€
Rede malha 20 X20mm	2´5	3,30€	8,25€
Cabo elétrico	5	0,29€	1,45€
Terminais de ligação elétricos	1	5,00€	5,00€
Luvas óculos e equipamentos de segurança	1	20,00€	20,00€
Mão-de-Obra	13	10	130
	Total		413,04€

No total gastaram-se 413,04€ na aquisição dos materiais. No quadro 2 não estão contemplados os custos do equipamento de soldagem e serralharia (solda elétrica, lixadeira elétrica, berbequim elétrico, serra metálica, fitas métricas, alicates, tesoura de cortar chapa, bancada e torno de bancada, etc.), nem o equipamento de proteção individual do operador (luvas, óculos, botas de biqueira de aço, fato de macaco), pois considerou-se que o seu uso não era destinado apenas a este projeto. Um agricultor que não tenha estes equipamentos terá de considerar os custos da sua aquisição.

4.1.3. Métodos/processos de construção

Depois de idealizar e elaborar um esboço do esqueleto do secador, começou-se pelo corte de 8 varas de ferro com 1 metro de comprimento e posterior soldagem para fazer dois quadrados (1 x 1m), como podemos ver na figura 23.

FIGURA 23 - PRIMEIRO QUADRADO SOLDADO DA ESTRUTURA DO SECADOR

Após soldar o primeiro quadrado e tirar todas as medidas, esquadrias e desempenos para que ficasse perfeito, repetiu-se o processo com o segundo quadrado (figura 24).

FIGURA 24 - DOIS QUADRADOS COMPLETOS DA ESTRUTURA DO SECADOR

Após o término dos dois quadrados completos, procedeu-se ao corte, com uma rebarbadora de 4 varas de 44 centímetros de comprimento de modo a unir os dois quadrados como podemos ver na figura 25. Nesta operação é importante o uso de EPI, tal como o uso de luvas e óculos de proteção.

FIGURA 25 - ESTRUTURA PRINCIPAL DO SECADOR TERMINADA

A construção da estrutura principal do secador demorou cerca de 6 horas.

Após a construção da estrutura principal, foi necessário idealizar a construção da porta do secador. Para o efeito, foi necessário cortar dois bocados de vara com 1 metro de comprimento e dois bocados de vara com 0,44 metros de comprimento, depois foi necessário soldá-los; obtendo-se o resultado refletido na figura 26.

FIGURA 26- ESTRUTURA E PORTA DO SECADOR

Posteriormente, de modo a fazer com que a circulação de ar fosse mais aerodinâmica, foram soldadas duas varas de 0,44 metros de comprimento para fixar uma folha de inox em curva, conforme se pode ver na figura 27.

FIGURA 27 - APOIOS PARA A FOLHA EM INOX

Após a construção e colocação dos apoios, cortou-se uma folha de inox com a rebarbadora, com as dimensões de 1,75 metros por 0,44 metros (figura 28).

Figura 28 - Corte da folha de inox

A folha de inox já cortada com as dimensões pretendidas foi colocada no local dentro do secador, de forma aerodinâmica de modo a favorecer a subida do ar quente e seco para a câmara de secagem, como se pode observar na figura 29.

FIGURA 29 - FIXAÇÃO DA FOLHA DE INOX

Nesta fase, a estrutura do secador estava quase terminada, portanto procedeu-se à colocação de rodas com o objetivo de facilitar a deslocação do secador (figura 30).

Uma vez que havia a necessidade de dividir o espaço interior do secador em dois compartimentos, foram colocados dois bocados de tubo de inox com 0,94 metros, posteriormente dois bocados com 0,50 metros na vertical para tornar possível a aplicação dos suportes dos tabuleiros de secagem (figura 31).

FIGURA 30 - INSERÇÃO DE RODAS NA ESTRUTURA DO SECADOR

A etapa seguinte consistiu na construção dos suportes das bandejas de secagem. Para o efeito, uma vara (figura 32) com o comprimento de 0,92 metros foi cortada ao meio no sentido longitudinal de modo a fazer dois L's que servem para suporte e encaixe dos tabuleiros de secagem como se pode observar nas figuras 32 e 33. Os suportes dos tabuleiros de secagem foram colocados com 15 cm de distância vertical, espaço esse que vai fazer com que as bandejas fiquem com distanciamento de 12 cm em 12 cm.

FIGURA 31 - DIVISOR DO INTERIOR DO DESIDRATADOR

Figura 32 - Ferro para suporte de prateleira

A etapa seguinte consistiu na inserção da estrutura de suporte dos ventiladores. Para esse efeito, cortou-se uma folha de inox, na qual se recortam três orifícios para colocar os ventiladores que vão fazer circular o ar dentro do secador (figura 34). Em seguida colocou-se uma folha de inox a separar a parte superior da parte inferior do secador, como se pode ver na figura 35. Colocaram-se os ventiladores na parte inferior e a resistência elétrica à frente dos ventiladores de modo a que o ar que os ventiladores impulsionam passe pela resistência para aquecer.

Figura 33 - Primeiros suportes cortados e soldados

Figura 34 - Suporte dos ventiladores

FIGURA 35 - FOLHA DE INOX QUE SEPARA A PARTE SUPERIOR DA PARTE INFERIOR DO SECADOR E SUPORTE DOS VENTILADORES

A construção da estrutura do secador demorou cerca de 5 horas.

Após todos estes passos e a montagem do posto de controlo (figura 36), elaborou-se uma caixa em chapa inox para receber a parte elétrica do secador. Foi necessário idealizar e executar a montagem das componentes elétricas, incluindo o interruptor e o termostato, como se pode ver na figura 37.

FIGURA 36 - SUPORTE DO POSTO DE CONTROLO

Figura 37 - Montagem da parte elétrica, interruptor e termostato

A montagem das componentes elétricas demorou cerca de 2 horas.

Após a estrutura e a parte elétrica terminada, tiraram-se as medidas e idealizaram-se as bandejas de secagem. A construção das cinco bandejas foi executada com uma rede com malha de 20mm por 20mm, as dimensões destas bandejas são de 440mm de largura por 980mm de comprimento, como se pode observar na figura 38.

FIGURA 38 - BANDEJA DE SECAGEM

O tempo total de execução da construção do secador foi de 13 horas. Tendo como referencia o preço de mão-de-obra de serralharia e eletricista de 10 euros, (preço obtido com

base numa empresa de serralharia de vila viçosa "Calipometal") estimou-se o custo de mão-de-obra para a construção em 130 euros.

4.2. Funcionamento do secador

Após a montagem da parte elétrica, o secador é comandado pelo termostato, logo o mais importante foi defenir a temperatura de secagem.

Após decisão da temperatura de secagem, programa-se o termostato para uma temperatura máxima, que deve de ser a temperatura escolhida, por exemplo 30°C, e uma temperatura minima que deverá ser, mais ou menos, 2°C abaixo da temperatura já programada, ou seja 28°C. O modo como se programam estas temperaturas depende do modelo/ marca comercial do termostato.

Após a definição das temperaturas máxima e mínima no termostato, o secador estava pronto para testar o seu funcionamento. As temperaturas do termostato ficam guardadas mesmo que se desligue o secador da corrente eléctrica, logo não haverá qualquer tipo de problema quando acontece algo imprevisto como um corte de luz ou uma mudança de local.

O teste do secador foi precedido pela planificação do corte das plantas a testar e o seu transporte para o local onde se instalou o secador.

Encheram-se as 5 bandejas com a planta a desidratar, ligou-se o secador no interruptor destinado a esse fim e a secagem começou.

O interruptor de ligar /desligar controla o termostato, os 3 ventiladores e o mini desumidificador; o termostato controla a resistência elétrica de acordo com a temperattura no interior do secador, ligando e desligando a resistência quando necessário.

A aerodinâmica do secador faz com que esteja subdividido em 3 áreas, uma delas é onde se inserem as bandejas de secagem, as restantes duas áreas ficam por baixo, sendo uma delas de extração de humidade do ar e a outra de aquecimento do ar. Estas duas áreas estão separadas poruma barreira onde estão encorporados os ventiladores, que têm como objetivo fazer movimentar o ar dentro do secador (figura 39).

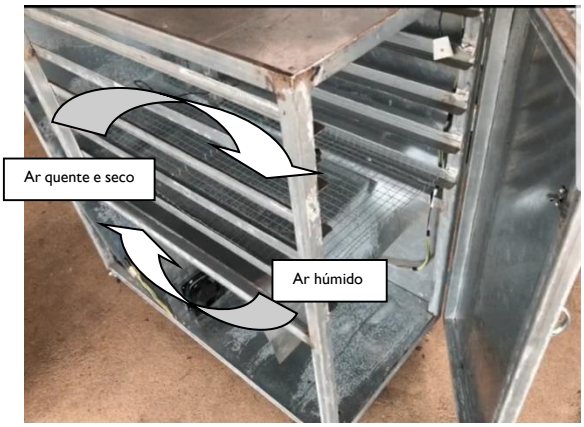

FIGURA 39 - CIRCULAÇÃO DE AR NO SECADOR

5. Implementação e controlo

4.1. Tempos de secagem: primeira testagem

Durante o processo de desidratação as plantas das três PAM foram vistas todos os dias para que fosse controlado o seu estado e para que fosse retirada a água que o mini desumidificador fosse removendo ao longo do dia. Desse modo, quando as plantas ficaram secas o mini desumidificador deixou de tirar água, sendo esse o indicador de que a secagem estava terminada e as plantas podiam ser retiradas do secador.

Foram efetuadas três amostragens para cada espécie para determinar a capacidade máxima do secador para estas espécies. Para os cálculos posteriores foi considerado o valor a negrito, que é o mais elevado, como de pode ver no quadro 3.

Quadro 3 – Capacidade máxima do secador para as espécies PAM em estudo

Espécie	Peso da amostra 1 (g)	Peso da amostra 2 (g)	Peso da amostra 3 (g)
Coentro	2410	**2463**	2375
Louro	**1575**	1497	1508
Alecrim	1342	**1387**	1280

4.1.1. Coentros (*Coriandrum sativum* L.)

Utilizaram-se 2463 gramas de folhas verdes de coentros. A amostra de coentros testada foi colhida, pesada com uma balança de campo e de seguida transportada para o secador. A amostra foi pesada ao final de 2 dias, 3 dias, 4 dias e 5 dias de secagem. Considerou-se a secagem completa quando houve estabilização do peso, o que aconteceu após 5 dias de secagem.

Os coentros secaram em 5 dias (Quadro 4), após pesar as amostras todos os dias ao quinto dia as mesmas já não tiveram alterações de peso significativas que justificassem mais um dia a secar. Totalizando 120 horas (5 x 24h) de secagem a uma temperatura que não excedeu os 30°C para que não se volatilizassem os óleos essenciais.

Pode-se admitir que neste processo os coentros perderam 92,6% do seu peso, que corresponde diretamente ao peso de água perdida durante as 120 horas de desidratação, mesmo este valor sendo bom, faz falta um termo de comparação usando o método de referencia laboratorial de obtenção de biomassa seca (secagem a 103°c durante 24 horas).

Conseguiu-se assim um produto de cor verde seco com um aroma leve e com uma durabilidade no tempo bastante superior ao produto em fresco.

4.1.2. Louro (*Laurus nobilis* L.)

Utilizaram-se 1575 gramas de folhas verdes de louro colhidas na parte mais abaixo do ramo. A amostra de louro testada foi colhida, pesada com uma balança de campo e de seguida transportada para o secador. As amostras foram pesadas após 2 dias, 3 dias, 4 dias, 5 dias e 6 dias, tendo-se considerado a secagem completa quando houve estabilização do peso das amostras, o que aconteceu após 6 dias.

O louro teve um tempo de secagem de 6 dias (Quadro 4), após pesar as amostras todos os dias ao sexto dia as mesmas já não tiveram alterações de peso significativas que justificassem mais um dia a secar, totalizando 142 horas (6 x 24 h). A humidade foi extraída de uma forma lenta e gradual, a uma temperatura sempre inferior a 30°C para que não se perdessem os óleos essenciais que dão origem ao aroma e sabor, dando assim origem a um produto final muito aromático e com uma cor verde seco.

Após 142 horas de secagem o louro foi retirado do secador e pesado, após esta pesagem pode-se constatar que tinha perdido 52,4% do seu peso, teve-se assim um rendimento de 47,62%.

Este processo deu origem a um produto com uma conservação muito superior ao mesmo em fresco, com uma cor verde seco e com um aroma forte.

4.1.3. Alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.)

Utilizaram-se 1387 gramas de folhas verdes de alecrim. A amostra de alecrim testada foi colhida, as folhas foram separadas dos caules e de seguida pesou-se com uma balança de campo e fez-se o transporte para o secador. As amostras foram pesadas ao final de 2 dias, 3 dias, 4 dias e 5 dias de secagem. Considerou-se a secagem completa quando houve estabilização do peso, o que aconteceu após 5 dias de secagem.

A secagem das folhas de alecrim foi completada após 5 dias (Quadro 4), após pesar as amostras todos os dias, ao quinto dia as mesmas já não tiveram alterações de peso significativas que justificassem mais um dia a secar, totalizando 120 horas de secagem lenta sem ultrapassar 30°C. Após a secagem completa, as amostras foram pesadas e separaram-se folhas dos ramos para dar origem ao alecrim em folha seco, muito aromático e com uma cor um pouco menos intensa do que em verde.

Quadro 4 - Rendimento real da primeira testagem do secador

Espécie PAM	Peso em verde (kg): P1	Peso em seco (kg): P2 (30 °C)	Rendimento real Biomassa seca (%) Rr (%) = (P2 / P1) x 100	Humidade (%)
Coentros	2,463	0,183	7,43%	92,57%
Louro	1,575	0,750	47,62%	52,38%
Alecrim	1,387	0,598	43,12%	56,89 %

Após 5 dias de secagem as folhas de alecrim perderam 56,89% do seu peso, correspondente à água que foi removida nesse espaço de tempo. Desta secagem resultou um produto de cor verde seca com um aroma muito intenso e com uma grande durabilidade, o rendimento da planta foi de 43,12%.

4.2. Tempos de secagem: segunda testagem

Para esta segunda testagem utilizou-se o mesmo método de colheita e escolha das plantas. Foram separadas 3 amostras de cerca de 50 g de material vegetal fresco para cada espécie/modalidade de secagem, comparando-se 3 métodos de secagem: (1) secagem no secador construído (secador JE) durante 4 dias a 30°C; (2) secagem no secador laboratorial (marca Memmert) do laboratório de Biologia Vegetal da Escola Superior Agrária de Elvas a 103°C durante 24 h; (3) secagem no mesmo secador laboratorial durante 4 dias a 35 °C.

O objetivo destes testes foi ter valores mais fiáveis de tempos de secagem e percentagens de humidade, comparando o secador construído (secador JE) com um secador laboratorial de referência. O método de secagem durante 24 h a 103 °C é utilizada comummente para obtenção

de biomassa seca de PAM (Lopes, 2014b), embora não seja utilizado pelos produtores de PAM pois destrói a componente aromática das plantas.

Os quadros 5 e 6 contêm os resultados obtidos para as médias das 3 amostras por espécie da percentagem de biomassa seca e da percentagem de humidade das amostras. O tratamento de dados foi feito com recurso ao programa Statistica (StatSoft inc., 2007), tendo sido feita uma análise de variância e separação de médias com o teste de Duncan. Não houve diferença estatística significativa ($p<0,05$) entre as biomassas secas e humidades entre as três modalidades de secagem (anexo 1), o que assegura que o secador construído funciona bem, removendo a humidade das plantas testadas.

A percentagem de humidade variou com a espécie testada, com diferença estatística significativa ($p<0,05$), sendo maior nos coentros (89,1%) pois trata-se de uma espécie anual herbácea, menor no alecrim (60,9 %) e no louro (49,7 %) por se tratarem de espécies arbustivas e arbóreas.

Os valores de biomassa seca (%) e humidade (%) obtidos neste estudo foram idênticos aos obtidos em estudos anteriores para coentros (Pereira, 2015), assim como para o alecrim pois Silva (2020) obteve um valor de 50,2% de humidade para alecrim.

Quadro 5 – Resultados da ANOVA dos 3 métodos de secagem de PAM por espécie. Média de 3 amostras de 50 g

Espécie	Secagem	Biomassa Seca (%)	Média*		Humidade (%)	Média*	
Coriandrum sativum	Lab BV 103ºC 24 h	10,9	10,8	c	89,1	89,2	c
	Lab BV 35ºC, 4 dias	11,4			88,6		
	Secador JE 30 ºC 4 d	10,2			89,8		
Laurus nobilis	Lab BV 103ºC 24 h	49,9	50,3	a	50,1	49,7	a
	Lab BV 35ºC, 4 dias	50,4			49,6		
	Secador JE 30 ºC 4 d	50,6			49,4		
Rosmarinus officinalis	Lab BV 103ºC 24 h	39,4	39,1	b	60,6	60,9	b
	Lab BV 35ºC, 4 dias	39,5			60,5		
	Secador JE 30 ºC 4 d	38,4			61,6		

*Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ($p<0,05$) entre si.

Quadro 6 - Resultados da ANOVA dos 3 métodos de secagem de PAM.

Secagem	Biomassa Seca (%)	Média	Humidade (%)	Média
Lab BV 100ºC 24 h	33,4		66,6	
Lab BV 35ºC, 4 dias	33,8	33,4	66,2	66,6
Secador JE 30 ºC 4 d	33,1		66,9	

Como se pode ver no quadro 6 não existem diferenças entre métodos de secagem, o que significa que o secador JE é eficaz a remover a humidade destas plantas (4 dias a 30°C).

Como se pode ver nas figuras 40, 41 e 42 as cores das plantas resultantes das secagens a 30°C e a 35°C são idênticas, já as plantas secas a 103°C tem uma cor mais escura e houve perda de aroma.

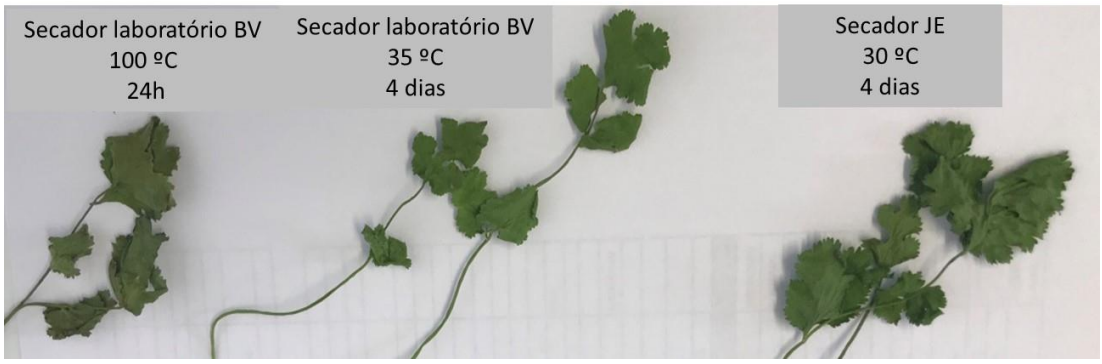

FIGURA 40 - COENTROS SECOS PELOS TRÊS MÉTODOS

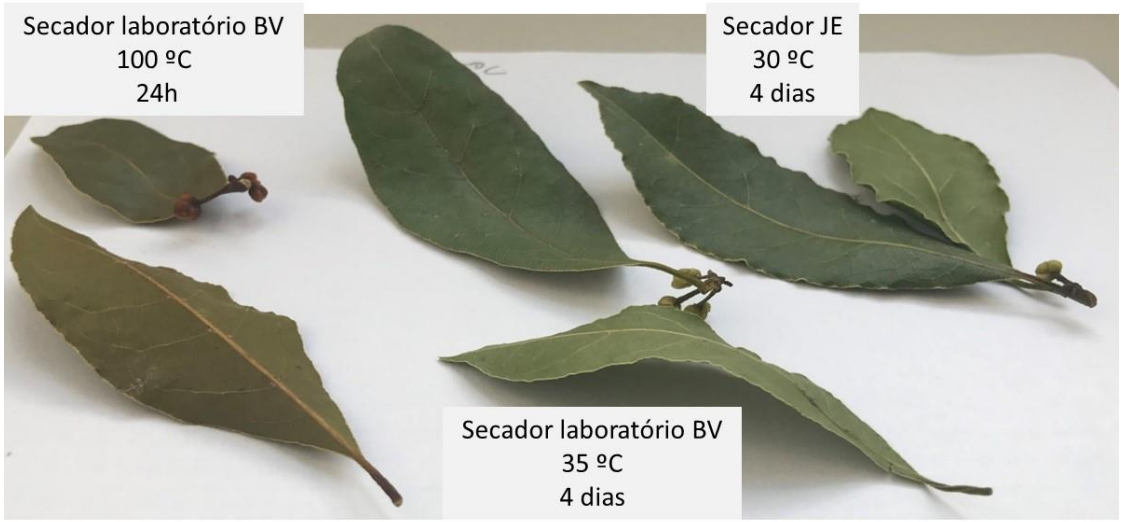

FIGURA 41 - LOURO SECO PELOS TRÊS MÉTODOS

FIGURA 42 - ALECRIM SECO PELOS TRÊS MÉTODOS

4.3. Eficiência energética

O tema da eficiência energética é cada vez mais importante, o principal alvo de uma inovação é o lema "fazer mais com menos". Deste modo, procurou-se conceber e construir um protótipo que fizesse a secagem de alguma quantidade de PAM com muita qualidade e com um gasto energético bastante baixo.

Após vários rascunhos da forma de montagem da parte elétrica, assim como os gastos a imputar, conclui-se que se necessitava de um total de 183 watts de energia gasta por todos os componentes elétricos (Quadro 7).

Os cálculos dos consumos elétricos e respetivos custos, teve em consideração os preços da eletricidade praticados pela EDP (figura 43).

Quadro 7 - Potencia dos elementos elétricos do secador

Componente elétrico	Quantidade	Gasto energético
Termostato	1	5w
Resistência	1	100w
Ventiladores	3	(16w*3)
Mini Desumidificador	1	30w
Total de energia gasta por todos os componentes		183w

Eletricidade		Preço EDP
Potência (€/dia)		0.2474
Energia (€/kWh)	Normal	0.1389

Figura 43 - Preços de eletricidade da EDP. Fonte: (EDP, 2021)

Abaixo expressa-se o cálculo dos gastos energéticos e respetivos custos, concluindo-se que o secador tem um gasto energético de 0,86 €/dia.

kWh = W × hr / 1000

kWh = 183 × 1 / 1000 = 0,183 kWh

kWdia= 0,183 × 24 = 4,392 kWdia

Preço de funcionamento por dia: potencia x (kWdia × preço do kwh)

=0,2474 +(4,392 × 0,1389) = 0,86 €/dia

O valor a azul na equação de cálculo refere-se ao custo diário da potencia do contador, em vigor à data dos cálculos. Deste modo, como se pode ver na equação, este secador tem um gasto diário de 4,392 kWdia, o que equivale a um custo de 0,857€ diários, de acordo com os preços de referência que constavam no site da EDP Comercial (EDP, 2021, figura 43).

O Quadro 8 inclui o valor comercial médio das plantas no mercado e os custos de secagem calculados por quilograma de biomassa seca das 3 PAM em estudo. O custo de secagem maior foi para os coentros (23,4 €/kg), seguido do alecrim (7,2 €/kg) e o louro (6,86 €/kg). Estes custos de secagem dependem sobretudo do teor de humidade das plantas, sendo que as plantas herbáceas como o coentro têm custos superiores às plantas arbustivas e arbóreas com teores de humidade inferiores. O tempo de secagem do louro foi superior (6 dias) mas não teve influencia significativa no custo unitário de secagem.

Nestes cálculos não foram considerados os custos de instalação das culturas, nem os restantes custos inerentes (despesas com mão-de-obra, operações de máquinas/equipamentos, materiais consumidos ao longo do processo produtivo, despesas administrativas e encargos fiscais).

Nesta etapa do trabalho, apercebemo-nos que seria importante comparar os custos unitários de secagem (€/kg de planta seca) do secador desenvolvido com outros secadores de mercado. Mas houve dificuldade em o conseguir porque essa informação não está publicada.

Neste contexto, decidiu-se calcular estes custos para o secador comercial mais parecido disponível no mercado, o secador Chatron. Os cálculos foram feitos conhecendo-se o tamanho das bandejas e o número de bandejas, partindo do principio que a capacidade máxima de plantas deste secador, em cada secagem, seria proporcionalmente idêntica ao secador que se construiu neste trabalho. Também se assumiu que o tempo de secagem seria idêntico (5 dias). O resultado desses cálculos para a secagem do coentro (planta seca) constam do quadro 9.

Tendo em conta os cálculos efetuados, o custo de secagem no secador Chatron por quilograma de planta seca, é 1,8 vezes maior que o do secador JE que se desenvolveu neste trabalho.

Quadro 8 - Cálculo dos custos de secagem das três plantas aromáticas

Espécie PAM	**Valor comercial médio (€/kg)***	**Custos de secagem**** (n° dias x custo diário secador) **(€)**	**Custos de secagem**/kg biomassa seca *** **(€/kg)**	Ganho potencial **(€/kg)**
Coentros	241,43	4,29	23,43	218,00
Louro	65,71	5,14	6,86	58,85
Alecrim	23,60	4,29	7,17	16,43
Média	110,25	4,57	12,48	97,76

* Os valores comerciais médios foram obtidos através de vários preços disponíveis online (Celeiro, 2022; Ervital, 2022; Continente, 2022).
**Custos de secagem considerando 5 dias para o coentro e alecrim e 6 dias para louro; custo do secador × 0,857 €/dia
*** cálculo feito com base na capacidade máxima do secador durante a primeira testagem (quadro 4)

Quadro 9 - Cálculo comparativo dos custos de secagem do secador construído com o secador comercial Chatron

Secador	**Dimensão bandejas (m)**	**Bandejas (n.º)**	**Área secagem (m^2)**	**Capacidade máxima (kg)**	**Consumo (kW/dia)**	**Custo (€/dia)***	**Custo secagem (€/kg)****
Chatron	0,8 x 0,9	10	7,2	0,612	36	5,248	42,874
JE	0,44x0,98	5	2.15	0,183	4,4	0,857	23,426

* potencia x kWdia × preço do kwh; 0,2474 – custo diário do contador; preço da eletricidade 0,1389 €/kWh ** 5 dias

6. Considerações finais

Tendo em conta que na sua maioria as plantas aromáticas e medicinais são comercializadas na sua forma desidratada, este protótipo de secador contribui para a resolução de um ponto-chave da sua produção que é a sua desidratação, como fazê-la de modo a conseguir rentabilizar o máximo possível das plantas, baixando o custo da secagem.

Pensa-se que o projeto de desenvolvimento de protótipo de secador foi bem-sucedido, embora tenha uma dificuldade média de construção, admite-se que muitos agricultores possam construir este secador para utilização própria, obtendo assim um secador com baixos custos de construção e de funcionamento. O tamanho do secador pode ser adaptado consoante o desejo do proprietário, podendo dar resposta às suas necessidades. Mesmo tendo em consideração que alguns agricultores não sejam capazes de autonomamente construir este secador, será possível ao autor deste trabalho desenvolver prestação de serviços e consultadoria.

Tendo em conta os resultados obtidos relativos aos custos de produção, assim como relativos aos gastos de energia, considera-se que os objetivos definidos no início do projeto foram atingidos.

Tendo em conta os ensaios que foram feitos, conclui-se que o secador tem um bom desempenho na secagem das PAM (4 dias a 30°C), devido a não existirem diferenças estatísticas significativas ($p<0,05$) entre os três processos de secagem testados. Sendo que os ensaios feitos tiveram como termo de comparação um secador laboratorial de referência.

A percentagem de humidade variou com a espécie testada, com diferença estatística significativa ($p<0,05$), sendo maior nos coentros (89,1%) pois trata-se de uma espécie anual herbácea, menor no alecrim (60,9 %) e no louro (49,7 %) por se tratarem de espécies arbustivas e arbóreas.

Os custos de secagem também diferem com as espécies estudadas, sendo o custo de secagem maior para as espécies herbáceas com maior teor de humidade, no caso o coentro com custo de secagem de 23,43 €/kg de planta seca. No entanto, estes custos acrescidos de secagem são compensadores pois o preço de mercado dos coentros tende a ser maior. O custo de secagem foi de 6,86 €/kg de planta seca para o louro e 7,17 €/kg de planta seca para o alecrim.

O custo de construção deste secador é três vezes mais baixo do que o secador mais parecido disponível no mercado (Chatron) que custa 1117,14€ (mais 23% IVA), e consome

apenas 183w/h enquanto o secador Chatron consome 1500w/h, fazendo com que haja grande poupança de energia, o que se vai refletir no custo de secagem do produto final.

Tendo em conta que o setor das PAM é um setor com um elevado número de pequenos agricultores, com pequenas áreas que não permitem, nem justificam um investimento em grandes secadores, este secador veio dar uma resposta que permite solucionar esse problema.

Considerando os preços de mercado das PAM desidratadas por este secador conclui-se o custo baixo do processo de secagem vai permitir ao produtor ter um ganho potencial acima dos 66% para o alecrim que é a planta menos valorizada no mercado; as plantas mais valorizadas terão ganhos potenciais maiores. No entanto, ressalva-se que não foram contabilizados os restantes custos de produção desde a mão-de-obra, passando pela instalação, as operações culturais, a rega, a colheita, o processamento e a embalagem.

O secador que foi desenvolvido neste trabalho de projeto pode contribuir para o desenvolvimento da fileira das PAM, que é um dos objetivos do projeto Coop4PAM. Também tem o potencial de diminuir a pegada de carbono das explorações produtoras de PAM, contribuindo para o desenvolvimento regional sustentável do Alentejo.

7. Bibliografia

Exposti, K.D. 2013. *Info escola*. Obtido de https://www.infoescola.com/geografia/clima-mediterraneo/

Barata, A.M., & Coelho, I. (ed.), Pestana, M. (ed.). 2018. *Plantas Aromáticas.* Oeiras: Europress, Indústrial Gráfica Lda. de http://www.iniav.pt/fotos/editor2/versao_online_0402.pdf Obtido em 14 de Fevereiro de 2020

Bhardwaj, A., Kumar, R., & Chauhan, R. 2019. Experimental investigation of the performance of a novel solar dryer for drying medicinal plants in Western Himalayan region. *Elsevier*, 395. https://www.journals.elsevier.com/solar-energy. Obtido em 06 de Dezembro de 2020

Celeiro. 2022. *Celeiro*. in https://www.celeiro.pt/produtos/alimentacao/chas-e-infusoes?p=1. Obtido em 15 de Janeiro de 2022.

Chatron. 2020. *Chatron*. Obtido de https://www.chatron.pt/pt/agricultura/desidratador-solar-2 Obtido a 30 de Outubro de 2020).

Choo, C.O., & Chua., B.L. 2019. Potential Study to Reduce Total Drying Time via Hybrid Drying Process. de file:///C:/Users/Admin/Downloads/CHOO_C_1%20(1).PDF. Obtido em 26 de Novembro de 2020.

Cornejo, F.E. 2018. *Embrapa.*, de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/183393/1/DOC-130-construcao-secador.pdf. Obtido em 14 de Fevereiro de 2020

Continente. 2022. produtos. Ervas aromaticas. https://www.continente.pt/pesquisa/?q=ervas+aromaaticas&start=0. Obtido a 25 de fevereiro de 2022

Cunha, J. 2014. Introdução à Secagem de Plantas Aromáticas e Medicinais. Workshop sobre Secagem de PAM. EPAM. ADC Moura. https://epam.pt/wp-content/uploads/2014/05/secagem-PAM-Vila-Real-22mai2014-JoaquimCCunha.pdf. Obtido em 15 de Fevereiro de 2020.

Dias, P. 2021. *RapidTables*. https://www.rapidtables.org/pt/convert/electric/watt-to-kwh.html Obtido em 13 de Agosto de 2021.

EDP. 2021. EDP Comercial. https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/ Obtido a 13 de Agosto de 2021).

Ervital. 2022. Condimentos bio. https://www.ervital.pt/category/condimentos-condimentos-bio-pet/9 Obtido a 25 de fevereiro de 2021.

Ferreira, A. 2005. Secagem solar de frutos e plantas aromáticas. p. 363., de https://www.researchgate.net/publication/267686259_Secagem_solar_de_frutos_e_plantas_aromaticas. Obtido em 24 de Outubro de 2020.

Ferreira, M.E. 2016. Plantas aromáticas e medicinais: espontâneas ou cultivadas? Vida Rural. outubro, 3, 32-34.

Fialho, J. 2015. *Fialho & Irmão lda*. Obtido em 14 de Fevereiro de 2018, de Fialho store.com: https://fialhostore.com/secadores-solares-hibridos-para-plantas-aromaticas-e-alimentos

Flora-On. 2014. Sociedade Portuguesa de Botânica. Flora Digital Interativa. www.flora-on.pt. Obtido em 11-2-2022.

Gasparin, P.P.; Alves, N.C.C.; Christ, D; Coelho, S.R.M. 2014. Qualidade de folhas e rendimento de óleo essencial em hortelã pimenta. p. 342., de file:///C:/Users/Admin/Downloads/Gasparin,%20P.%20P.,%20Alves,%20N.%20C.%20C.,%20Christ,%20D.,%20&%20Coelho,%20S.%20R.%20M.%20(2014).pdf. Obtido em 28 de Novembro de 2020.

Jardim botânico UTAD. 2020. *utad jardim botânico*. Obtido de Flora Digital de Portugal: https://jb.utad.pt/especie/Laurus_nobilis. Obtido em 30 de outubro de 2020.

Lopes, E. 2014. Colheita, Caraterização e Avaliação de germoplasma de coentros (*Coriandrum sativum* L.) do Alentejo – Dissertação de mestrado, Instituto Politécnico de Portalegre, Escola Superior Agrária de Elvas, Elvas.

Lopes, J. 2014. Cultivo e processamento de plantas. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia e Segurança Alimentar. Faculdade de Ciências da UNL. Obtido em 25 de Outubro de 2020, de https://run.unl.pt/bitstream/10362/13766/1/Lopes_2014.pdf

Martinov, M., Adamovic, D., Ruzic, D., & Abrel., D. 2010. Investigation of Medicinal Plants Drying in Batch Dryhers - Quality and Energy Characteristics. file:///C:/Users/Admin/Downloads/M%20Martinov,%20D%20Adamovic,%20D%20Ruzic,%20D%20Abrel%20-%20Proc%20EE&AE,%202006%20-%20baer.uni-ruse.bg%20(1).pdf. Obtido em 27 de Novembro de 2020.

Martins, M., Costa, J., Costa, M., & Nunes, V. 2001. Produção e Secagem de Plantas Aromáticas, Condimentares e Medicinais. p. 6. file:///C:/Users/Admin/Downloads/INTERREG_II_PAM_Brochura_PSPACM_%20(2).pdf. Obtido em 30 de outubro de 2020.

Martynenko, A., & Kudra, T. 2015. Non-Isothermal Drying of Medicinal Plants. *Drying Technology*, 1550. https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1010209. Obtido em 07 de Dezembro de 2020.

Melo, E., & Radunz, L. 2002. Secador a Gás para Plantas Medicinais e Aromáticas. file:///C:/Users/Admin/Downloads/MELO,%20E.%20D.%20C.,%20RADUNZ,%20L.%20L.,%20&%20Berbert,%20P.%20A.%20(2002).pdf. Obtido em 28 de Novembro de 2020.

Moré, E., Fanlo, M., Melero, R., & Cristóbal, R., 2010. *Guía para la producción sostenible de plantas aromáticas y medicinales.* Centre Tecnologic Forestal de Catalunya: Gràfiques Muval.

Pereira, C. 2015. Caracterização morfológica e seleção de acessos de coentro (*Coriandrum sativum* L.) colhidos no Alentejo. Relatório de Estágio. ESAE/IPP.

Póvoa, O., & Delgado, F. 2015. Tipos e espécies de PAM. Guia para produção de plantas aromáticas e medicinais em portugal. EPAM. in https://epam.pt/guia/tipos-e-especies-de-pam/ Obtido em 20 abril 2021.

Rodrigues, I. 2007. Processos de conservação de alimentos baseados na redução do conteúdo água. http://www.esac.pt/noronha/pga/0708/AulaSecagem0708.pdf. Obtido em 25 de Outubro de 2020.

Silva, W.J., Santos, M.G.A., & de Lisboa, C.C. 2020. Caracterização bromatológica do alecrim (Rosmarinus officinalis) in natura. *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*, *1*(7), 188-201.

StatSoft inc. 2007. Statistica (data analysis software system), version 8.0, www.statsoft.com.

Xiang, Z., Yong, P., & Lim, S. 2020. Customized drying treatments increased the extraction of phytochemicals and antioxidant activity from economically viable medicinal plants. *Elsevier*, 2. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669020307329 Obtido em 07 de Dezembro de 2020.

Valagão, M.M. 2010. *Natureza, Gastronomia & Lazer: Plantas Silvestres Alimentares e Ervas Aromáticas Condimentares.* Lisboa: Edições Colibri.

Villar, L. 1998. *Laurus* L. in Castroviejo, S., Aedo, C., Laínz, M., Muñoz Garmendia, F., Nieto Feliner, G., Paiva, J. & Benedí, C. (eds.). Flora iberica 1: 199-201. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid. http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/01_032_01_Laurus.pdf. Obtido em 11 de Fevereiro de 2022.

Anexos

Anexo 1 - Resultados comparativos dos 3 métodos de secagem das 3 espécies PAM

Espécie	**amostra**	**secagem**	**PV (g)**	**PS (g)**	**Biomassa seca (%)**	**BS (%) Média**	**Humidade (%)**	**H (%) Média**
	1		49,8	18,5	37,1		62,9	
Rosmarinus officinalis	2	Secador JE 30 ºC 4 d	49,9	19,4	38,9	38,4	61,1	61,6
	3		58,1	22,7	39,1		60,9	
	1		50,8	19,9	39,1		62,6	
Rosmarinus officinalis	2	Lab BV 103ºC 24 h	51,4	20,3	39,4	39,4	62,3	62,4
	3		49,2	19,5	39,6		62,2	
	1		48,6	19,2	39,5		60,5	
Rosmarinus officinalis	2	Lab BV 35ºC, 4 dias	46,6	18,4	39,5	39,5	60,5	60,5
	3		49,2	19,4	39,4		60,6	
	1		48,9	5,0	10,2		89,8	
Coriandrum sativum	2	Secador JE 30 ºC 4 d	50,1	5,1	10,2	10,2	89,8	89,8
	3		50,9	5,2	10,2		89,8	
	1		51,4	5,5	10,5		90,7	
Coriandrum sativum	2	Lab BV 103ºC 24 h	49,6	5,1	10,3	11,0	90,3	89,7
	3		40,6	4,8	12,3		88,2	
	1		50,4	5,4	10,7		89,3	
Coriandrum sativum	2	Lab BV 35ºC, 4 dias	50,4	5,8	11,5	11,4	88,5	88,6
	3		45,3	5,4	11,9		88,1	
	1		50,1	25,5	50,9		49,1	
Laurus nobilis	2	Secador JE 30 ºC 4 d	49,4	24,6	49,8	50,6	50,2	49,4
	3		50,0	25,6	51,2		48,8	
	1		50,2	24,9	49,6		52,2	
Laurus nobilis	2	Lab BV 103ºC 24 h	42,6	21,1	49,5	49,9	52,6	52,0
	3		48,4	24,5	50,6		51,2	
	1		42,2	21,6	51,2		48,8	
Laurus nobilis	2	Lab BV 35ºC, 4 dias	48,0	24,0	50,0	50,4	50,0	49,6
	3		57,8	29,0	50,1		49,9	

Resultados da ANOVA e dos testes de separação de médias (Programa STATISTICA; teste de Duncan, p<0,05) da comparação dos 3 métodos de secagem das 3 espécies PAM.

Analysis of Variance (JE biomassa seca lab BV tratados 14fev2022)
Marked effects are significant at p < ,05000

Variable	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
Biomassa seca (%)	2,18355	2	1,091773	7446,216	24	310,2590	0,003519	0,996488
Humidade (%)	14,64458	2	7,322291	7300,753	24	304,1980	0,024071	0,976240

Duncan test; Variable: Biomassa seca (%) (JE biomassa seca lab BV 1fev2022)
Marked differences are significant at p < ,05000

secagem	{1} M=33,675	{2} M=31,975	{3} M=33,764
secador JE {1}		0,830589	0,991109
100ºC 24 h {2}	0,830589		0,832364
35ºC, 4 dias {3}	0,991109	0,832364	

Analysis of Variance (JE biomassa seca lab BV tratados 14fev2022)
Marked effects are significant at p < ,05000

Variable	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
Biomassa seca (%)	7434,906	2	3717,453	13,49337	24	0,562224	6612,052	0,000000
Humidade (%)	7285,171	2	3642,586	30,22641	24	1,259434	2892,240	0,000000

Duncan test; Variable: Biomassa seca (%) (JE biomassa seca lab BV tratados 14fev2022)
Marked differences are significant at p < ,05000

Espécie	{1} M=39,065	{2} M=10,874	{3} M=50,329
Rosmarinus officinalis {1}		0,000152	0,000152
Coriandrum sativum {2}	0,000152		0,000065
Laurus nobilis {3}	0,000152	0,000065	